Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural

COMPARATIVA DEL DISEÑO POR VIENTO PARA EL SISTEMA DE RECUBRIMIENTO EN UN TANQUE ELEVADO; NORMA CFE 1993 VS 2008

Alfonso Islas Hernández[1]; José Hernández Aguilar[1]; Juan Carlos Islas Hernández[2]

RESUMEN

Se presenta una comparación en el cálculo de las fuerzas de diseño por viento, para obtener una estructuración metálica que sirve de soporte al recubrimiento de la torre de un tanque elevado. Se aplica la metodología del Manual de Obras Civiles para el Diseño por Viento de la Comisión Federal de Electricidad en sus versiones 1993 (MV-CFE-93) y 2008 (MV-CFE-2008) para obtener estas fuerzas. El parámetro de comparación es el perfil de presiones de diseño, que se determina con la participación del factor de amplificación dinámica y los coeficientes de presión local o de arrastre.

ABSTRACT

A comparison in the calculus of the forces of design for wind for a metallic structure that uses as support the shell of the storage elevated water is presented. The methodology of Design Manual for Wind of C.F.E. 1993 and 2008 versions were used for obtained these forces. The comparison of parameter is the design pressures profile, which is determinates with dynamic amplification factor and the local pressure values.

INTRODUCCIÓN

Dentro de las obras de infraestructura urbana que desarrolla CASAS GEO están los almacenamientos de agua potable. Se proyectan cisternas semi enterradas o bien se les anexa un depósito elevado para ofrecer mayor carga hidráulica y radio de influencia en el servicio. Para ello, las áreas de proyectos y de ingenierías participan conjuntamente para elaborar proyectos que garanticen el cumplimiento de las normativas de diseño, construcción y operación. Adicional a esto, la empresa se caracteriza por innovar en sus diseños arquitectónicos para ofrecer a los moradores un mejor entorno urbano.

Por ello, el Ing. Alfonso Islas del Departamento de Ingeniería Estructural de Geo Centro, propuso al área de proyectos un diseño arquitectónico fuera de lo convencional para el proyecto del tanque elevado N°1 de la comunidad de Nuevo Paseos de San Juan en el predio de Prados y Pirineos del municipio de Zumpango, estado de México.

Desde el punto de vista arquitectónico el diseño propone una geometría peculiar para la torre del tanque elevado. Con una sección transversal circular hueca de concreto reforzado, con un diámetro externo de 6.25m, espesor de paredes de 0.25m y una altura de 31.70m respecto al nivel de terreno natural. El recubrimiento se compone de nueve cuerpos metálicos de planta hexagonal, girados entre ellos siete grados en sentido antihorario, para generar una percepción visual de las vértebras del cuello humano. La planta hexagonal del cuerpo metálico tipo esta circunscrita en un diámetro de 7.4m, tiene aristas de 3.7m y una altura constante de 2.8m; existe una separación entre cuerpos tipo de 0.6m (ver figura 1).

[1] Departamento de Ingeniería Estructural. Casas GEO. GEO CENTRO. Av. Revolución No. 1586, Col. San Ángel, C.P.1000, Delg. Álvaro Obregón, México, D.F. Teléfono (55) 54 80 15 00 ext. 1828, aislas@casasgeo.com
[2] Coordinador de Proyectos. Casas GEO. GEO Hogares Ideales. Av. Revolución, No. 1586, Col. San Ángel, CP.1000, Delg. Álvaro Obregón, D.F. jcislas@casasgeo.com.

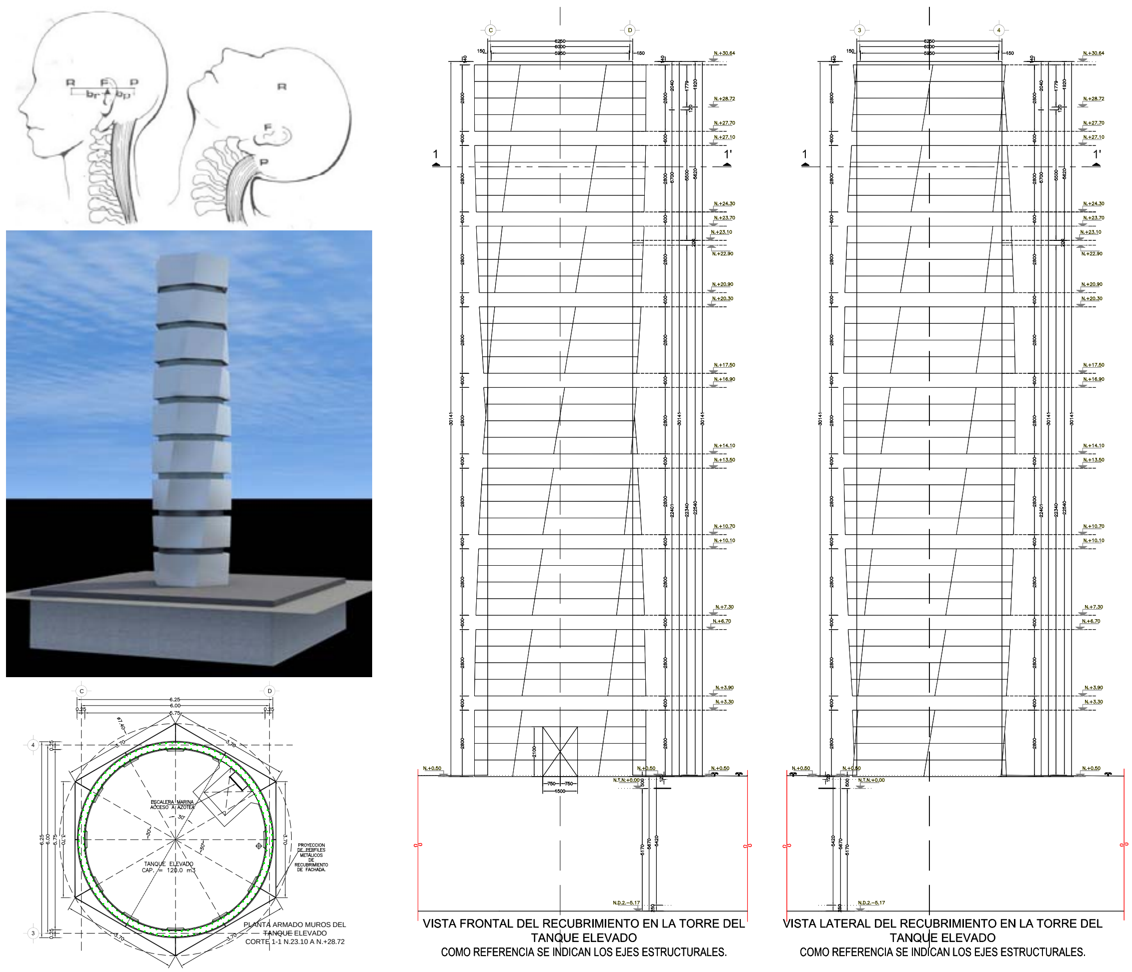


Figura 1 Propuesta geométrica del proyecto de recubrimiento para la torre del tanque elevado

El génesis de esta propuesta surgió después de consultar e investigar la obra del arquitecto e ingeniero catalán Santiago Calatrava. A partir de su escultura denominada *Torso Girado* o *Torso en movimiento*, se realizo el proyecto y construcción de un edificio de oficinas, negocios y departamentos en la cuidad de Malmö, en Suecia. Con base en un análisis geométrico de la planta tipo de este edificio se plasmó esta información en el diseño de la torre del tanque elevado N°1 de la comunidad GEO en Zumpango (ver figura 3).



Figura 2 Génesis del proyecto, edificio y escultura del Arq-Ing. Santiago Calatrava

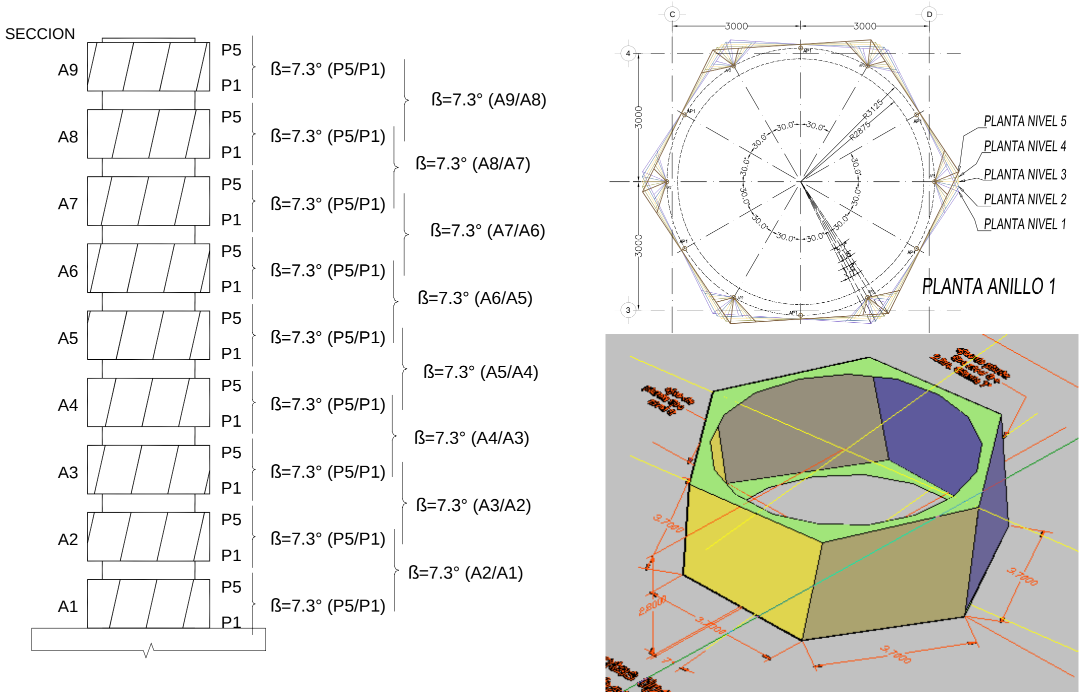


Figura 3 Vista del análisis geométrico del proyecto

Para llevar a cabo nuestro proyecto se utilizó una estructuración principal de concreto reforzado mediante una torre cilíndrica y posteriormente anclar un sistema de bastidores metálicos con la geometría, forma y posición definidos en el análisis geométrico de la figura 3. Por último, se colocó sobre los bastidores una lámina lisa metálica multi perforada.

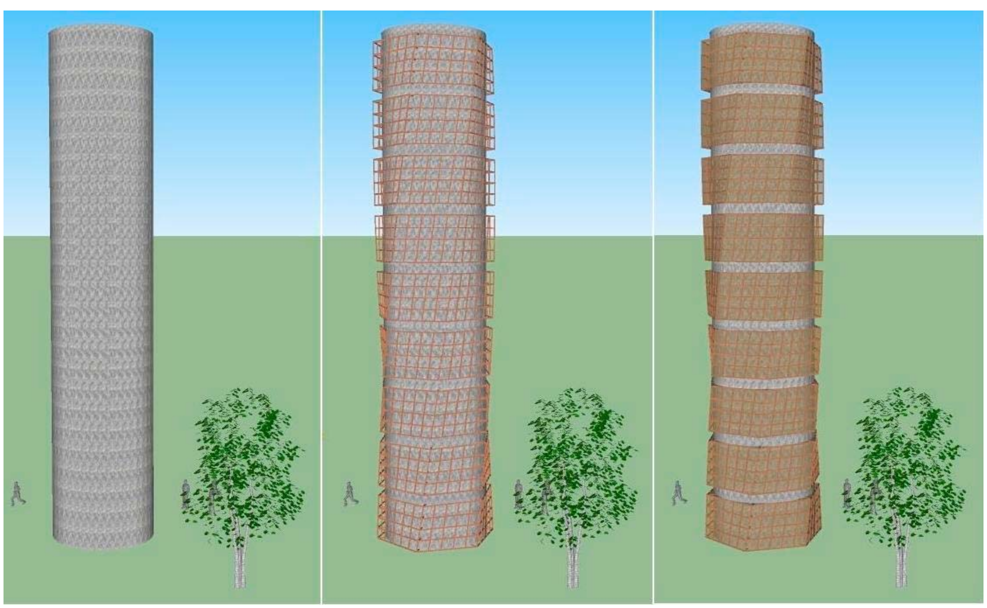


Figura 4 Vista general del proceso para construir el proyecto

Por tanto, el análisis y diseño estructurales del sistema de recubrimiento de este tanque elevado se enfoca en conocer el perfil de presiones de diseño por viento con base en la metodología del Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad en sus versiones de 1993 (MV-CFE-1993) y 2008 (MV-CFE-2008).

DETERMINACIÓN DEL PERFIL DE PRESIONES DE DISEÑO POR VIENTO

PRELIMINARES

Se presenta el resumen del proceso de análisis para determinar el perfil de presiones por viento para el recubrimiento de la torre. El diseño final del proyecto se elaboró con los resultados del planteamiento del MV-CFE-1993. El predio donde se edifica esta infraestructura urbana corresponde a un campo abierto sin cambios topográficos importantes, con pendientes menores del 5%.

MV-CFE-93

Los textos que aparecen entre corchetes rectangulares indican la sección y/o apartado del manual. Con base en la [figura 1.4.11] se realizó la secuencia de cálculo para determinar el perfil de presiones. A partir de los siguientes valores se determinaron los factores que indica el manual.

Partimos de H(m) = 31.7; D(m) = 6.25; $\lambda = H/D = 5.072$ El periodo natural de vibración de la estructura es de T= 0.75s. Clasificación de la estructura: según su importancia [4.3]: *B*; según su respuesta [4.4]: *tipo 2*. Categoría del terreno según rugosidad [4.6.1, tabla I.1] 3; periodo de retorno fijo [4.6.2] *Tr* = 50 años. Velocidad regional [figura I.3] con Latitud = 19.67° y Longitud = -98.99°; V_R = 120 Km/hr. Factor de tamaño [4.6.3.1, tabla I.3] F_C = 0.95; para el factor de rugosidad y altura [4.6.3.2] F_{RZ} tenemos las siguientes variables $\alpha = 0.16$; $\delta = 390$ [tabla I.4]. Factor de topografía [4.6.4 tabla I.5] $F_T = 1.0$

Para $Z \leq 10$m $\quad F_{RZ1} = 1.56(10/\delta)^{\alpha}$; $F_{RZ1} = 0.8681$ (e1)
Para $10\text{m} < Z < \delta$ $\quad F_{RZ2} = 1.56(Z/\delta)^{\alpha}$; $F_{RZ2} = 0.6006(Z)^{0.160}$ (e2)

Factor de exposición $F_\alpha = F_C \cdot F_{RZ}$ [4.6.3]. En este caso de estudio se decidió no corregir el parámetro por rugosidad del terreno, se supuso constante en la dirección del viento.

$Z \leq 10$m $\quad F_{\alpha 1} = 0.8247$ (e3)
$10\text{m} < Z < \delta$ $\quad F_{\alpha 2} = 0.5705(Z)^{0.160}$ (e4)

Velocidad de diseño V_D (Km/hr) = $F_T \cdot F_\alpha \cdot V_R$

$Z \leq 10$m $\quad V_{D1} = 98.960$ (e5)
$10\text{m} < Z < \delta$ $\quad V_{D2} = 68.464(Z)^{0.160}$ (e6)

Para una altitud de 2260 msnm se tienen los valores interpolados de manera lineal [tabla I.7] Ω(mm Hg)=582 τ(°C)=15. Por tanto $G = 0.392\Omega/(273+\tau)$; G=0.792. Con ello se determina el perfil de variación de la presión dinámica base q_Z (Kg/m^2) = $0.0048G \cdot (V_D)^2$

$Z \leq 10$m $\quad q_{Z1} = 37.237$ (e7)
$10\text{m} < Z < \delta$ $\quad q_{Z2} = 17.823(Z)^{0.320}$ (e8)

Determinación de las presiones de diseño Pz

Debido a que la relación $\lambda > 5$ y $T < 1$ segundo, decidimos emplear un análisis dinámico [4.9.3.1 y 4.9.3.2]. La presión de diseño (P_Z) se valúa con el factor de respuesta dinámica (F_g) y el coeficiente de arrastre (C_a).

$$P_Z = F_g \cdot C_a \cdot q_Z \qquad \text{(e9)}$$

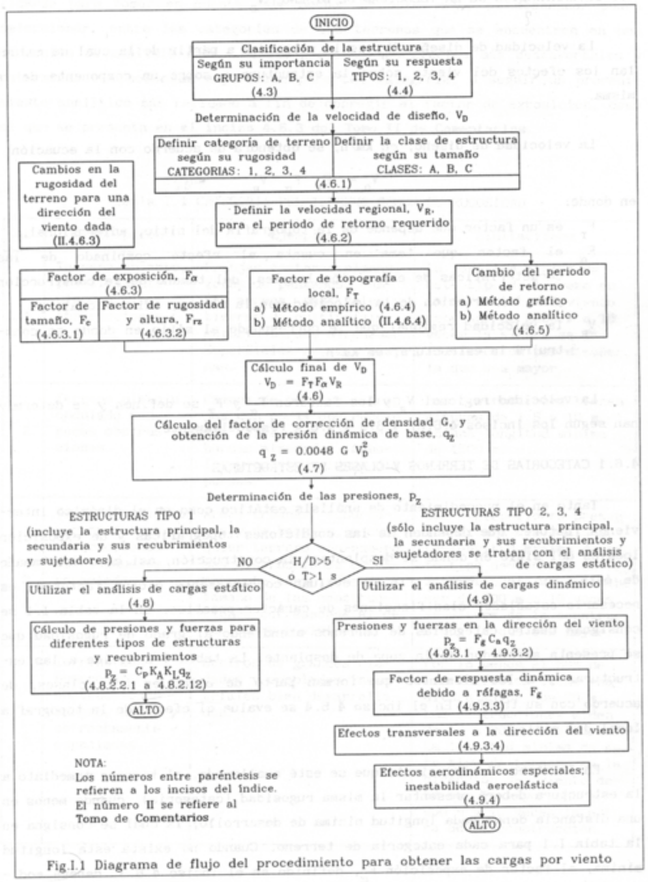


Figura 5 Diagrama de flujo para análisis por viento MV-CFE-93

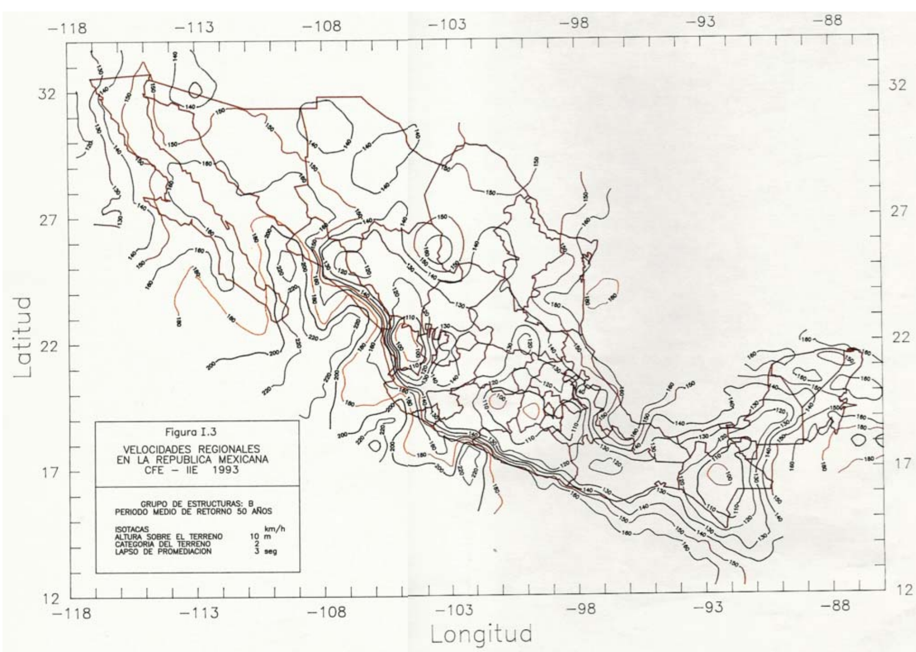


Figura 6 Velocidades regionales de la República Mexicana para TR=50años

El factor de respuesta dinámica debido a ráfaga [4.9.3.3] se determina con:

$$F_g = \left(1/g^2 \right)\left[1 + g_P \left(\sigma/\mu \right) \right] \tag{e10}$$

El factor de ráfaga (g) presenta una variación con la altura (Z). Con base en la categoría del terreno [4.6.1, tabla I.1, tabla I.29], se tienen los siguientes valores $\kappa' = 1.369$; $\eta = -0.096$; $\delta = 390$

$Z \leq 10$m $\qquad g_1 = \kappa'(10/\delta)^{\eta}$; $g_1 = 1.946$ (e11)

$10\text{m} < Z < \delta$ $\qquad g_2 = \kappa'(Z/\delta)^{\eta}$; $g_2 = 2.427(Z)^{-0.096}$ (e12)

Por otra parte, la relación entre la desviación estándar de la carga por viento y la media de la carga por viento esta dada por:

$$\frac{\sigma}{\mu} = \sqrt{\frac{k_r}{C_{\alpha'}}\left(B + \frac{S \cdot E}{\zeta} \right)} \tag{e13}$$

Con base en el apartado [4.9.3.3], el factor de rugosidad del terreno $k_r = 0.10$ y el coeficiente de amortiguamiento crítico $\zeta = 0.02$. El Coeficiente $C_{\alpha'}$ se expresa en función de la altura máxima de la construcción (H).

$H \leq 10$m $\qquad C_{\alpha'} = 3.46(F_T)^2(10/\delta)^{2\alpha'}$; $C_{\alpha'} = 0.575$ (e14)

$10\text{m} < H < \delta$ $\qquad C_{\alpha'} = 3.46(F_T)^2(H/\delta)^{2\alpha'}$; $C_{\alpha'} = 1.012$ (e15)

Con $H = 31.7$m; $\alpha' = 0.245$ [apartado 4.9.3.3]; se elige el mayor de los valores de $C_{\alpha'}$. Para determinar el factor de excitación de fondo (B), el factor de relación de energía de ráfaga con la frecuencia natural de la estructura (E), el factor de reducción de tamaño (S) y el factor de respuesta máxima (g_P) se emplea la [figura I.20] junto con los siguientes valores:

Diámetro que circunscribe al hexágono tipo b(m) =7.4; H(m)=31.70; $b/H = 0.233$; n_0(hertz) = $1/T$; $n_0 = 1.333$; el factor de ráfaga (g_H) se obtiene al evaluar la ecuación "ec. 12" con $Z = H$; $g_H = 1.742$; velocidad de diseño (V_H) se evalúa la ecuación "ec. 6" con $Z = H$; V_H(Km/hr) = 119.022; velocidad media de diseño del viento para la altura más elevada de la estructura $V'_H = V_H / g_H$; V'_H (Km/hr) = 68.326; la frecuencia reducida se determina con: $3.6(n_0 \cdot H)/V'_H = 2.227$; el número de ondas se valúa con: $3.6 \cdot n_0/V'_H = 0.070$ (ondas/m).

Con base en la figura 7, se obtiene de manera gráfica los siguientes valores: $B = 1.25$; $S = 0.025$; $E = 0.32$; con ello se determina el coeficiente de rapidez de fluctuación promedio ν (Hz):

$$\nu = n_0 \sqrt{\frac{S \cdot E}{S \cdot E + \zeta \cdot B}} \; ; \; \nu = 0.656$$

El factor de pico (g_P) se obtiene en función de ν y de la figura 4; $g_P = 4.10$; al sustituir valores en la ecuación "ec. 13" tenemos $(\sigma/\mu) = 0.4039$; de la ecuación "ec. 10" determinamos el valor de $(1 + g_P(\sigma/\mu)) = 2.6559$; con base en lo anterior obtenemos la variación de F_g con la altura:

$Z \leq 10$m $\qquad F_g = 0.7013$ (e16)

$10\text{m} < Z < \delta$ $\qquad F_g = 0.4507(Z)^{0.192}$ (e17)

Al valuar la ecuación "ec. 17" con $Z = H = 31.7$m tenemos que $F_g = 0.875$ es menor a la unidad, por tanto no aplican los efectos dinámicos en el análisis. De esta manera definimos entonces que $F_g = 1.0$ en toda la altura de la estructura.

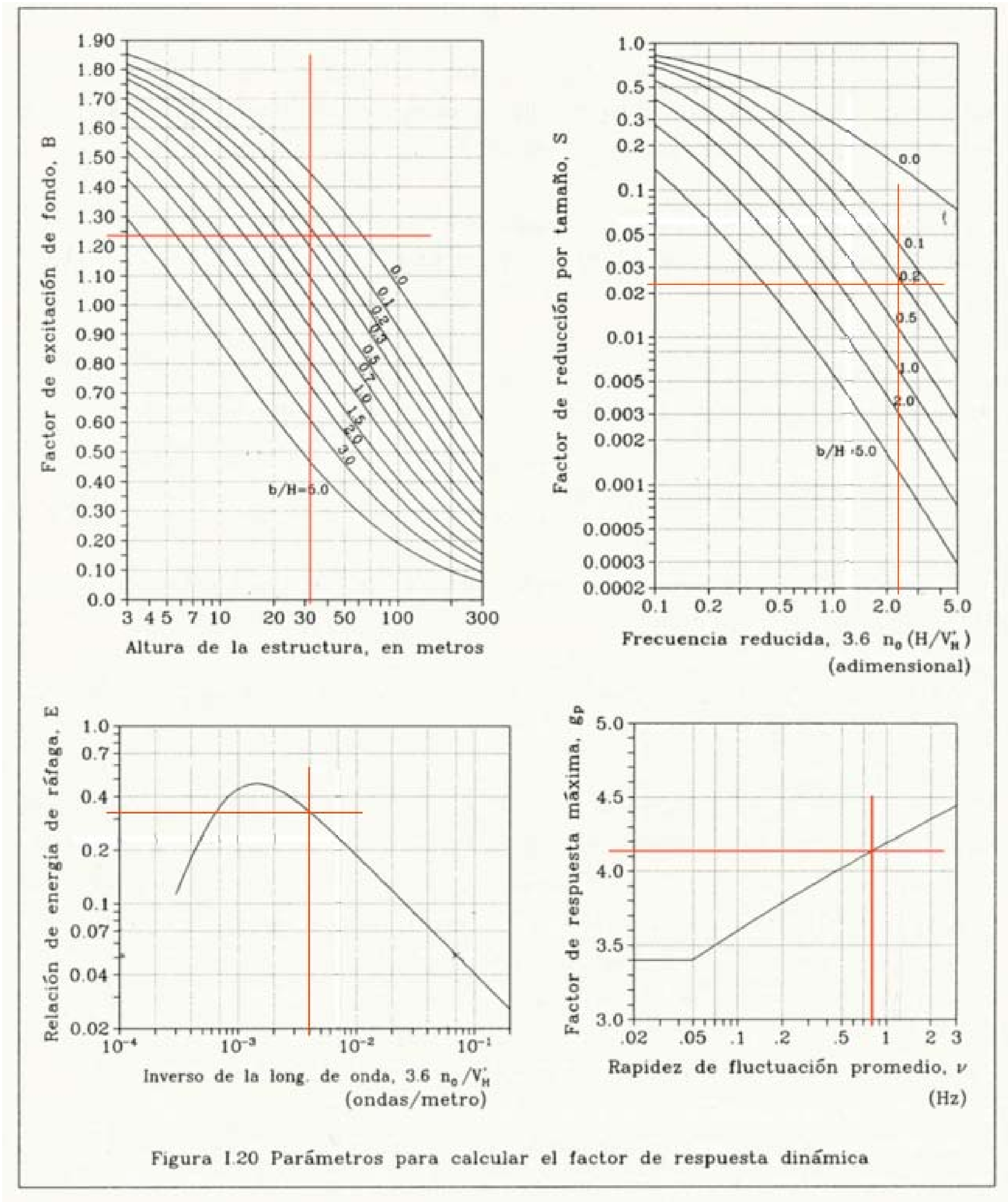


Figura I.20 Parámetros para calcular el factor de respuesta dinámica

Figura 7 Vista del método gráfico para determinar factor de respuesta dinámica

Para determinar el valor del coeficiente C_a, se emplean tres criterios: uno mediante construcciones con planta cerrada [4.9.3.6, tabla I.30]; otro con el enfoque de chimenea y/o torre [4.8.2.12, tabla I.28]; y por último con las sugerencias del apéndice A [apéndice A, tabla A.1].

Del primer enfoque tenemos en la figura 8 el máximo valor de C_a = 0.8 En el caso del segundo criterio, para construcciones de planta hexagonal u octagonal, con λ= 5.072 interpolamos de manera lineal y determinamos C_a = 1.136 (ver figura 8).

Del tercer criterio, partimos del caso de construcciones con planta cilíndricas junto con el cálculo de las siguientes variables: si H(m) =31.70; entonces $2H/3$(m) = 21.133; de la ecuación "ec.6" $V_{2H/3}$(Km/hr) = 111.546; transformamos la velocidad a (m/s) y V_D = 30.985; con b(m) = 6.25; $V_D \cdot b$(m^2/s) = 193.656; obtenemos C_a = 1.20 (ver figura 8) para superficies rugosas o con proyecciones.

Para finalizar consideramos el caso de la planta con aristas y la dirección del viento a 45° tenemos C_a = 1.6; el valor final de C_a se toma como el máximo de los tres criterios: C_a = 1.60

Con base en la ecuación "ec. 9" se determina el perfil de presiones de diseño y sus valores se presentan en la tabla 1.

$Z \leq 10$m $\qquad P_{Z1}\,(\text{Kg/m}^2) = 59.5794$ (e18)

$10\text{m} < Z < \delta$ $\qquad P_{Z2}\,(\text{Kg/m}^2) = 28.5165(Z)^{0.320}$ (e19)

Tabla 1 Valores de presión de diseño MV-CFE-93

Sección	H (m)	F_{RZ}	$F\alpha$	V_D (Km/h)	q_Z (Kg/m^2)	*g*	*F_g*	*F_g*	Pz(Kg/m^2)
Ver figura 3		*"ecs. 1,2"*	*"ecs. 3,4"*	*"ecs. 5,6"*	*"ecs. 7,8"*	*"ecs. 11,12"*	*"ecs. 16,17"*	*Final*	*"ecs. 18,19"*
9	30.300	1.037	0.985	118.165	53.093	1.750	0.868	1.0	84.949
8	26.900	1.017	0.966	115.936	51.109	1.770	0.848	1.0	81.774
7	23.500	0.995	0.945	113.457	48.946	1.793	0.826	1.0	78.314
6	20.100	0.971	0.922	110.655	46.558	1.820	0.802	1.0	74.494
5	16.700	0.942	0.895	107.422	43.878	1.853	0.774	1.0	70.205
4	13.300	0.909	0.863	103.580	40.795	1.893	0.741	1.0	65.272
3	9.900	0.868	0.825	98.960	37.237	1.946	0.701	1.0	59.579
2	6.500	0.868	0.825	98.960	37.237	1.946	0.701	1.0	59.579
1	3.100	0.868	0.825	98.960	37.237	1.946	0.701	1.0	59.579
0	0.000	0.868	0.825	98.960	37.237	1.946	0.701	1.0	59.579

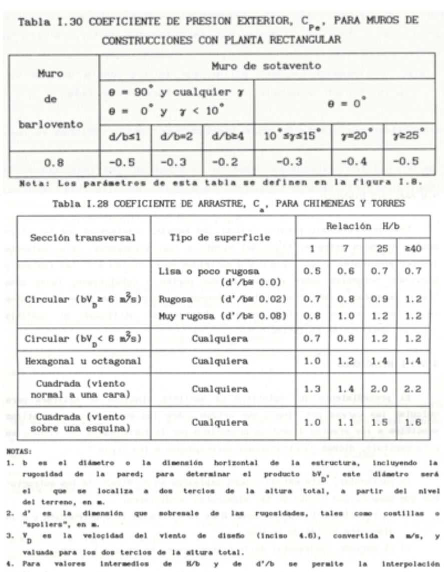


Tabla I.30 COEFICIENTE DE PRESION EXTERIOR, C_{Pe}, PARA MUROS DE CONSTRUCCIONES CON PLANTA RECTANGULAR

Muro de barlovento	Muro de sotavento					
	θ = 90° y cualquier γ; θ = 0° y γ < 10°			θ = 0°		
	d/b≤1	d/b=2	d/b≥4	10°≤γ≤15°	γ=20°	γ≥25°
0.8	-0.5	-0.3	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5

Nota: Los parámetros de esta tabla se definen en la figura I.8.

Tabla I.28 COEFICIENTE DE ARRASTRE, C_a, PARA CHIMENEAS Y TORRES

Sección transversal	Tipo de superficie	Relación H/b			
		1	7	25	≥40
Circular ($bV_D \geq 6$ m²/s)	Lisa o poco rugosa (d'/b≅ 0.0)	0.5	0.6	0.7	0.7
	Rugosa (d'/b≅ 0.02)	0.7	0.8	0.9	1.2
	Muy rugosa (d'/b≅ 0.08)	0.8	1.0	1.2	1.2
Circular ($bV_D < 6$ m²/s)	Cualquiera	0.7	0.8	1.2	1.2
Hexagonal u octagonal	Cualquiera	1.0	1.2	1.4	1.4
Cuadrada (viento normal a una cara)	Cualquiera	1.3	1.4	2.0	2.2
Cuadrada (viento sobre una esquina)	Cualquiera	1.0	1.1	1.5	1.6

NOTAS:

1. b es el diámetro o la dimensión horizontal de la estructura, incluyendo la rugosidad de la pared; para determinar el producto bV_D, este diámetro será el que se localiza a dos tercios de la altura total, a partir del nivel del terreno, en m.
2. d' es la dimensión que sobresale de las rugosidades, tales como costillas o "spoilers", en m.
3. V_D es la velocidad del viento de diseño (inciso 4.6), convertida a m/s, y valuada para los dos tercios de la altura total.
4. Para valores intermedios de H/b y de d'/b se permite la interpolación lineal.

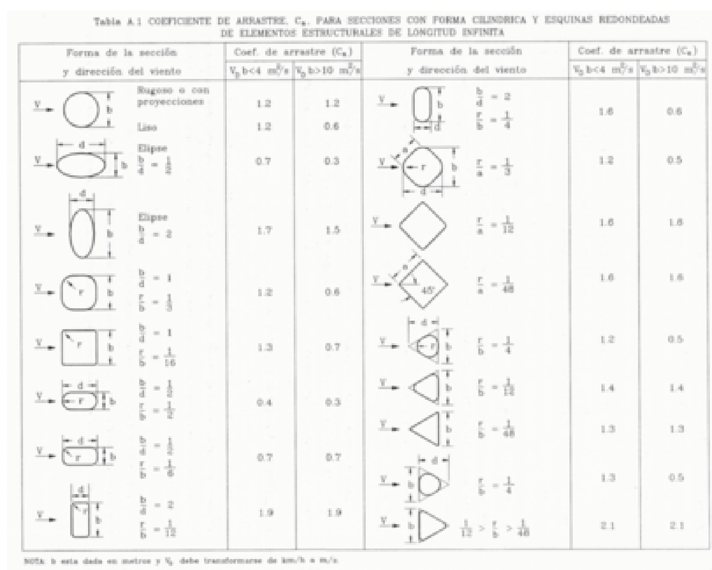


Tabla A.1 COEFICIENTE DE ARRASTRE, C_a, PARA SECCIONES CON FORMA CILINDRICA Y ESQUINAS REDONDEADAS DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE LONGITUD INFINITA

Forma de la sección y dirección del viento	Coef. de arrastre (C_a) $V_D b<4$ m²/s	Coef. de arrastre (C_a) $V_D b>10$ m²/s	Forma de la sección y dirección del viento	Coef. de arrastre (C_a) $V_D b<4$ m²/s	Coef. de arrastre (C_a) $V_D b>10$ m²/s
Rugoso o con proyecciones	1.2	1.2	b/d = 2, r/b = 1/4	1.6	0.6
Liso	1.2	0.6			
Elipse b/d = 1/2	0.7	0.3	r/a = 1/3	1.2	0.5
Elipse b/d = 2	1.7	1.5	r/a = 1/12	1.6	1.6
b/d = 1, r/b = 1/3	1.2	0.6	r/a = 1/48	1.6	1.6
b/d = 1, r/b = 1/16	1.3	0.7	r/b = 1/4	1.2	0.5
b/d = 1/2, r/b = 1/2	0.4	0.3	r/b = 1/12	1.4	1.4
			r/b = 1/48	1.3	1.3
b/d = 1/2, r/b = 1/6	0.7	0.7	r/b = 1/4	1.3	0.5
b/d = 2, r/b = 1/12	1.9	1.9	1/12 > r/b > 1/48	2.1	2.1

NOTA: b esta dada en metros y V_D debe transformarse de km/h a m/s.

Figura 8 Vista de las tablas I.30, I.28 y A.1 del MV-CFE-93

Determinación de la velocidad critica de vórtices periódicos

Adicional a este análisis, se presenta la revisión de los efectos de vorticidad. Aunque la geometría de la estructura no amerita esta revisión, se considera oportuno determinar la velocidad crítica de aparición de vórtices y compararla con la máxima de diseño [apartado 4.9.3.4]. Para estructuras de planta cilíndrica o aproximadamente cilíndrica se recomienda calcular la velocidad crítica como sigue:

$$\text{Si } n_0 \cdot b^2 \leq 0.5 \text{ m}^2/\text{s} \quad ; V_{CV} = 21.6 n_0 \cdot b \qquad \text{(e20)}$$
$$\text{Si } 0.5 \text{ m}^2/\text{s} < n_0 \cdot b^2 < 0.75 \text{ m}^2/\text{s} \quad ; V_{CV} = 10.8 n_0 \cdot b + 5.4/b \qquad \text{(e21)}$$
$$\text{Si } n_0 \cdot b^2 \geq 0.75 \text{ m}^2/\text{s} \quad ; V_{CV} = 18 n_0 \cdot b \qquad \text{(e22)}$$

Con base en los siguientes valores b(m) = 6.25; n_0(Hertz) = 1.33; $n_0 \cdot b^2$ = 52.083; se tiene que V_{CV}(Km/hr) = 150.0 Mientras que la velocidad de diseño, valuada a la máxima altura de la construcción, es $V_{D(H)}$(Km/hr) = 119.022; por tanto, $V_D < V_{CV}$, no es necesario considerar los efectos de vibración o de aparición de vórtices. (V_D / V_{CV} = 0.7935)

MV-CFE-08

En este segmento se plantea la secuencia de cálculo (ver figura 9) para obtener las presiones de diseño con el nuevo manual de diseño. A partir de los siguientes valores se determinaron los factores correspondientes; para H(m) = 31.7; D(m) = 6.25; $\lambda = H/D$ = 5.072 y un periodo natural de vibración de la estructura T = 0.75 s.

Clasificación de la estructura: según su importancia [4.1.3]: *B*; según su respuesta [4.1.4]: *tipo 2*. Categoría del terreno según rugosidad [4.2.1, tabla 4.2.1] 3.0; periodo de retorno fijo [4.2.2] Tr = 50 años. Velocidad regional [figura 4.2.2] con Latitud = 19.67° y Longitud = -98.99°; V_R = 110 Km/hr. Para el factor de rugosidad y altura [4.2.3] F_{RZ}. Tenemos las siguientes variables α = 0.156; δ = 390; c = 0.881 [tabla 4.2.3]. Factor de topografía [4.2.4] F_T = 1.0 [tabla 4.2.4].

Se consideró que en la dirección del viento analizado, el terreno inmediato a la estructura presenta la misma rugosidad (o categoría del terreno) en una longitud mínima de 500m. Además se emplearon los mapas de isotacas de velocidad regional con base en la importancia de la estructura con un período de retorno fijo y no con el enfoque de la velocidad regional óptima.

Por otra parte, en esta versión del manual, ya no se plantea el concepto de clasificación de la estructura según su tamaño, ni el factor de tamaño F_C (ver tabla 1). Podemos intuir que el factor de exposición F_α ha quedado inmerso en la nueva definición del factor de rugosidad y altura. Con ello tenemos:

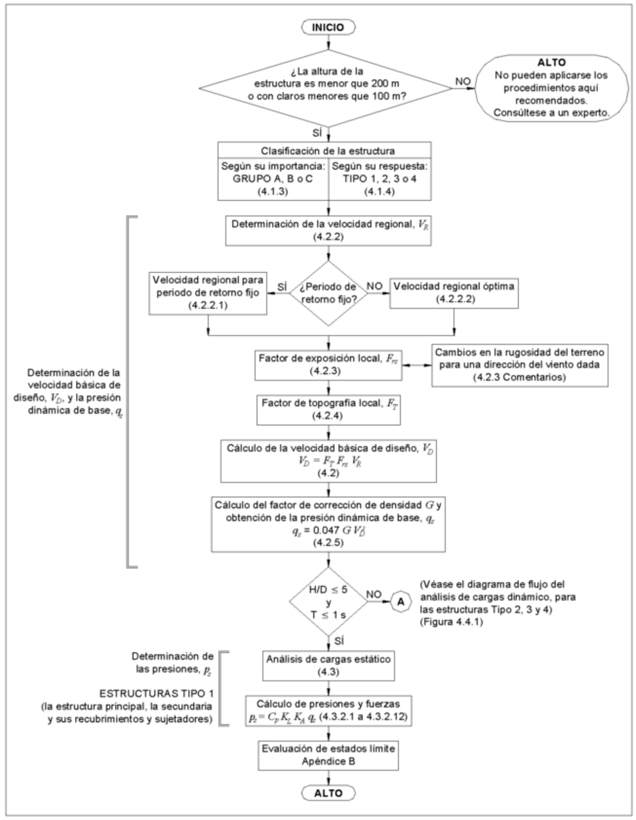
$$\text{Para } Z \leq 10\text{m} \qquad F_{RZ1} = c \quad ; F_{RZ1} = 0.881 \qquad \text{(e23)}$$
$$\text{Para } 10\text{m} < Z < \delta \qquad F_{RZ2} = c \cdot (Z/\delta)^{\alpha} \quad ; F_{RZ2} = 0.6151(Z)^{0.156} \qquad \text{(e24)}$$

Ahora se determina la velocidad básica de diseño [4.2] mediante $V_D(\text{Km/hr}) = F_T \cdot F_{RZ} \cdot V_R$

$$Z \leq 10\text{m} \qquad V_{D1} = 96.910 \qquad \text{(e25)}$$
$$10\text{m} < Z < \delta \qquad V_{D2} = 67.666(Z)^{0.156} \qquad \text{(e26)}$$

Para una altitud de 2260 msnm se tiene el valor interpolado de manera lineal [tabla 4.2.5] Ω(mm Hg)=582; con τ(°C) =15; tenemos $G = 0.392\Omega/(273 + \tau)$; G=0.792; por tanto determinamos el perfil de variación de la presión dinámica base q_Z (Kg/m^2) = $0.0048G \cdot (V_D)^2$

$$Z \leq 10\text{m} \qquad q_{Z1} = 35.710 \qquad \text{(e27)}$$
$$10\text{m} < Z < \delta \qquad q_{Z2} = 17.410(Z)^{0.312} \qquad \text{(e28)}$$



Nota: Los números entre paréntesis se refieren a los incisos del Índice.

Figura 4.1.1 Diagrama de flujo del procedimiento para obtener las cargas por viento.

Figura 9. Diagrama de flujo para análisis por viento MV-CFE-08

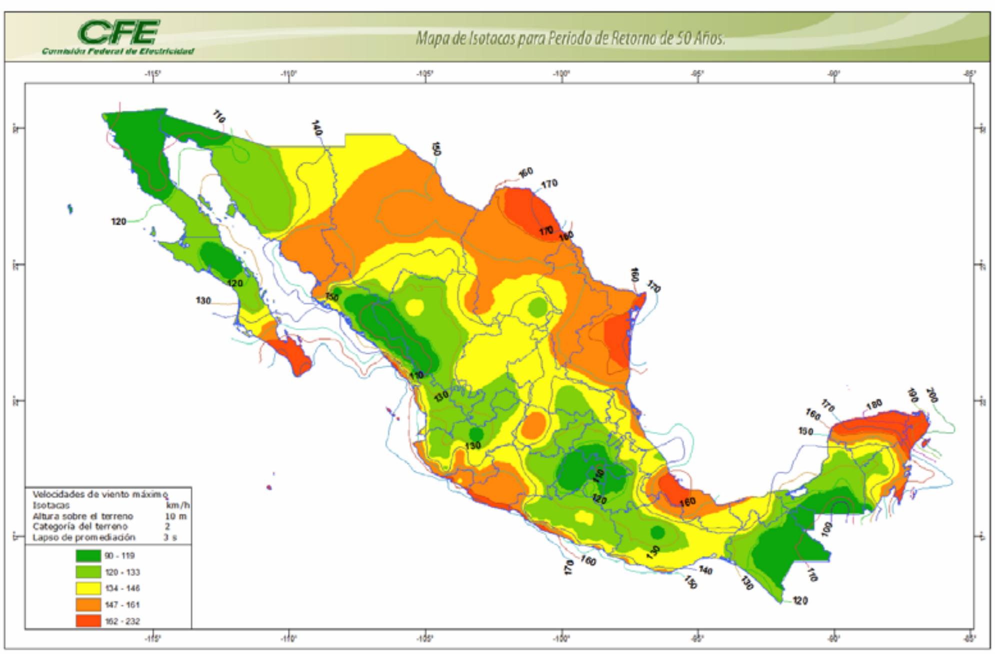


Figura 4.2.2 Mapa de isotacas para velocidades regionales con periodo de retorno de 50 años.

Figura 10. Velocidades regionales de la República Mexicana para TR=50años

Determinación de las presiones de diseño Pz

Debido a que la relación $\lambda > 5$ y $T < 1$ segundo, decidimos emplear un análisis dinámico [4.4.1 y 4.4.2]; con ello el perfil de presiones de diseño (P_Z) se valúa con el factor de amplificación dinámica (F_{AD}) y los coeficientes de presión (C_P).

$$P_Z = F_{AD} \cdot C_P \cdot q_Z \quad \text{(e29)}$$

Antes de determinar el factor F_{AD}, iniciamos con el cálculo del factor de exposición para la velocidad media F'_{RZ} [4.4.2.1] el cual considera el efecto combinado de las características de la rugosidad local y de la variación de la velocidad con la altura; a partir de los siguientes valores $\overline{b} = 0.77$; $\alpha' = 0.21$ [tabla 4.4.1]

$Z \leq 10$m $\quad F'_{RZ1} = 0.702\overline{b}$; $F'_{RZ1} = 0.5405$ (e30)

10m $< Z < 200$ $\quad F'_{RZ2} = 0.702\overline{b}\,(Z/10)^{\alpha'}$; $F'_{RZ2} = 0.3333(Z)^{0.210}$ (e31)

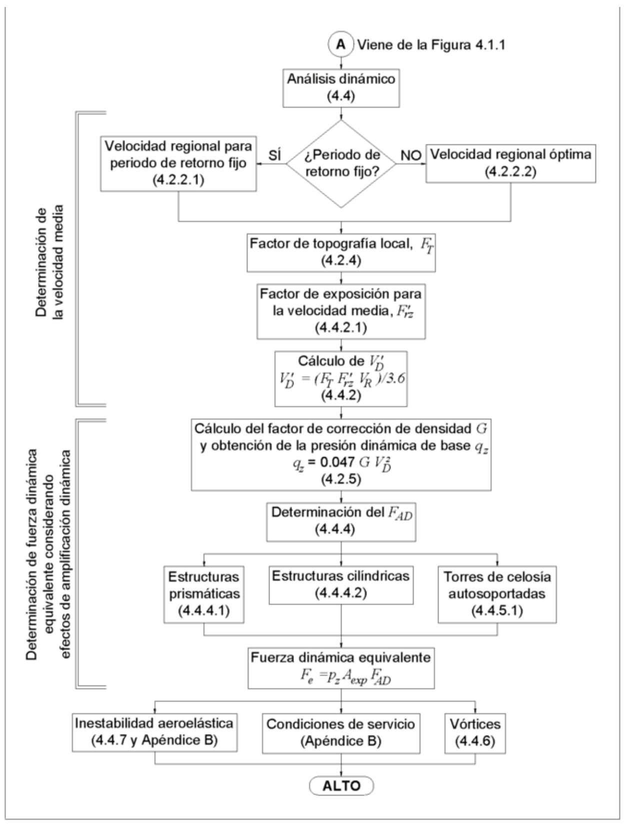


Figura 4.4.1 Diagrama de flujo para el análisis dinámico.

Figura 11. Diagrama de flujo para análisis dinámico por viento MV-CFE-08

Luego determinamos la velocidad media de diseño [4.4.2] mediante $V'_D(\text{m/s}) = (F_T \cdot F'_{RZ} \cdot V_R)/\,3.6$

$Z \leq 10$m $\quad V'_{D1}$ (m/s) = 16.5165 ; V'_{D1} (Km/hr) = 59.4594 (e32)

10m $< Z < 200$ $\quad V'_{D2}$ (m/s) = $10.1840(Z)^{0.210}$; V'_{D2} (Km/hr) = $36.6624(Z)^{0.210}$ (e33)

Re calculamos la presión dinámica base [4.2.5] $q_Z\,(\text{Kg/m}^2) = 0.0048G \cdot (V'_D)^2$

$Z \leq 10$m $\quad q_{Z1} = 13.4431$ (e34)

10m $< Z < \delta$ $\quad q_{Z2} = 5.1109(Z)^{0.210}$ (e35)

Comenzamos con el proceso para determinar el valor del factor F_{AD} para el caso de estructuras de planta cilíndrica [4.4.4.2]

$$F_{AD} = \frac{1 + 2k_p \cdot I_V(Z_S)\sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_V(Z_S)} \quad \text{(e36)}$$

Con D(m) = 6.25; h(m) =31.7m; la altura de referencia Z_S(m) = 0.6h = 19.02 [figura 4.4.3]. A partir de los siguientes valores $\bar{d}$ = 0.29; Z_0(m) = 0.30; Z_{MIN} = 5.0; Z_{MAX} = 200.0; $\bar{\alpha}$ = 0.21 [tabla 4.4.2]; tenemos que $Z_{MIN} \le Z_S \le Z_{MAX}$. Para determinar el índice de turbulencia $I_V(Z_S)$ y la longitud de la escala de turbulencia $L(Z_S)$ se emplean las siguientes ecuaciones:

$$I_V(Z_S) = \bar{d} \cdot \left(Z_S/10\right)^{-\bar{\alpha}} \qquad ;\ I_V(Z_S) = 0.2621 \quad \text{(e37)}$$

$$L(Z_S) = 300\left(Z_S/200\right)^{\bar{\alpha}} \qquad ;\ L(Z_S) = 71.4186 \quad \text{(e38)}$$

Con ello determinamos el factor de respuesta de fondo:

$$B^2 = \frac{1}{1 + \frac{3}{2}\sqrt{\left(\frac{D}{L(Z_S)}\right)^2 + \left(\frac{h}{L(Z_S)}\right)^2 + \left(\frac{D \cdot h}{L^2(Z_S)}\right)^2}} \qquad ;\ B^2 = 0.5948 \quad \text{(e39)}$$

La frecuencia natural de vibración de la estructura en la dirección del viento es $\eta_{1,X}$(Hz) = 1/T = 0.1333; la relación de amortiguamiento total se toma igual al valor del amortiguamiento estructural [tabla 4.4.3] de manera que $\zeta_{t,x}$ = $\zeta_{est,x}$ = 0.013; valuamos la ecuación “ec. 33” con Z = Z_S, $V'_{D(ZS)}$(m/s) = 18.9039; por tanto calculamos la densidad de potencia de viento mediante:

$$S_L(Z_S, \eta_{1,X}) = \frac{6.8\left(\frac{\eta_{1,X} \cdot L(Z_S)}{V'_D(Z_S)}\right)}{\left[1 + 10.2\left(\frac{\eta_{1,X} \cdot L(Z_S)}{V'_D(Z_S)}\right)\right]^{5/3}} \qquad ;\ S_L(Z_S, \eta_{1,X}) = 0.0467 \quad \text{(e40)}$$

Determinamos el factor de reducción de tamaño:

$$K_S(\eta_{1,X}) = \frac{1}{1 + \sqrt{\left(5.75\frac{D \cdot \eta_{1,X}}{V'_D(Z_S)}\right)^2 + \left(3.19\frac{h \cdot \eta_{1,X}}{V'_D(Z_S)}\right)^2 + \left(11.69\frac{\left(\eta_{1,X}\right)^2 \cdot D \cdot h}{\left(V'_D(Z_S)\right)^2}\right)^2}} \qquad ;\ K_S(\eta_{1,X}) = 0.0676 \quad \text{(e41)}$$

El factor de respuesta en resonancia se valúa con:

$$R^2 = \frac{\pi}{4\zeta_{t,x}} S_L(Z_S, \eta_{1,X}) \cdot K_S(\eta_{1,X}) \qquad ;\ R^2 = 0.1909 \quad \text{(e42)}$$

La frecuencia de cruces por cero o tasa media de oscilaciones, en Hz, se define con la siguiente expresión:

$$\nu = \eta_{1,X}\sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} \ge 0.08 \qquad ;\ \nu = 0.6572 \quad \text{(e43)}$$

Para valuar el factor pico (k_P) tomamos el intervalo de tiempo con el que se calcula la respuesta máxima T = 600seg, por tanto:

$$k_P = \sqrt{2\ln(\nu \cdot T)} + \frac{0.6}{\sqrt{2\ln(\nu \cdot T)}} \ge 3.0 \qquad ;\ k_P = 3.6310 \quad \text{(e44)}$$

Finalmente, al sustituir valores en la ecuación "ec. 36" tenemos que F_{AD} = 0.9480 el cual es menor a la unidad, es decir, no existe amplificación por efectos dinámicos (F_{AD} = 1.0).

Resta obtener el perfil de presiones de diseño, en lo que respecta a la torre donde se colocará el recubrimiento, empleamos el estudio de coeficientes de presión para el caso de chimeneas o torres [4.3.2.11]. Con base en lo anterior, se determina el valor del coeficiente de arrastre (C_a) [tablas 4.3.22 y 4.3.23] y el valor para el factor de corrección por relación de esbeltez (K_{re}) para la altura total de la estructura [tabla A.4, Apéndice A].

Para el caso de C_a, partimos primero del análisis con ayuda de la [tabla 4.3.22] y de la geometría en planta del cilindro, con un ancho b(m) = 6.25; valuamos la ecuación "ec. 26" con $Z = H$ = 31.7m y tenemos V_D(m/s) = 32.275; $b{\cdot}V_D$ (m^2/s) = 225.927 > 10; por tanto se aplica el método alterno para determinar C_a. Suponemos que la altura promedio de la rugosidad de la superficie de la lámina de acero ligero es hr(mm) = 2.5; entonces hr/b = 0.00037 > 0.00002; de aquí obtenemos:

$$C_a = 1.6 + 0.105 ln(hr/b);\ C_a = 0.778 \qquad \text{(e45)}$$

Tomamos en cuenta la [tabla A.1] para el caso de la planta con la dirección del viento a 45° y C_a = 1.6 Consideramos también el caso de la [tabla 4.3.23] con la geometría en planta de hexágono, el coeficiente arrastre es C_a = 1.4 Tomamos entonces el mayor de estos valores como definitivo para nuestro diseño.

Para el factor K_{re}, consideramos de forma práctica que el diámetro de análisis es el valor medio de los diámetros máximos de la planta del hexágono tipo y de la torre del tanque respectivamente b(m) = 0.5·(7.40+6.25) = 6.825; con Le(m) = 31.7 tenemos que la relación Le/b = 4.64 < 8; por tanto, según el [apartado 4A.6] consideramos que no aplica la corrección por esbeltez y entonces K_{re} = 1.0

Según el [apartado 4.2.3] la fuerza equivalente (F_{eq}) se obtiene al multiplicar la fuerza estática (F_{es}) por el F_{AD}. La fuerza estática se define por $F_{es} = q_Z{\cdot}C_P{\cdot}A_{ref}$; por tanto: $F_{eq} = q_Z{\cdot}C_P{\cdot}A_{ref}F_{AD}$.

El coeficiente de presión (C_P) se valúa de la siguiente manera $C_P = C_a{\cdot}K_{re}$ Sustituimos valores y tenemos que C_P = (1.6)(1.0) = 1.6 y dado que F_{AD} = 1.0 podemos definir la variación de la fuerza equivalente con la altura, mediante la expresión:

$$F_{eq} = 1.60 q_Z{\cdot}A_{ref} \qquad \text{(e46)}$$

De la misma manera podemos definir la variación del perfil de presiones de diseño de la ecuación "ec. 29":

$$P_Z = q_Z{\cdot}C_P{\cdot}F_{AD}\ ;\ P_Z = 1.60 q_Z \qquad \text{(e47)}$$

En la tabla 2 se presenta el cálculo de los diversos parámetros para definir el perfil de presiones de diseño con esta versión del manual

Tabla 2 Valores de presión de diseño MV-CFE-08

Sección	H (m)	F_{RZ}	V_D (m/s)	q_Z (Kg/m^2)	F_{AD}	F_{AD}	Pz(Kg/m^2)
Ver figura 3		*"ecs. 23,24"*	*"ecs. 25,26"*	*"ecs. 27,28"*	*"ec. 36"*	*Final*	*"ec. 47"*
9	30.300	1.047	32.002	50.467	0.948	1.0	80.747
8	26.900	1.028	31.413	48.627	0.948	1.0	77.803
7	23.500	1.007	30.758	46.620	0.948	1.0	74.591
6	20.100	0.982	30.017	44.401	0.948	1.0	71.042
5	16.700	0.954	29.162	41.907	0.948	1.0	67.051
4	13.300	0.921	28.144	39.033	0.948	1.0	62.453
3	9.900	0.881	26.919	35.710	0.948	1.0	57.137
2	6.500	0.881	26.919	35.710	0.948	1.0	57.137
1	3.100	0.881	26.919	35.710	0.948	1.0	57.137
0	0.000	0.881	26.919	35.710	0.948	1.0	57.137

Efecto de vórtices periódicos

Con base en el [apartado 4.4.7] las fuerzas originadas por las vibraciones generales pueden despreciarse si se cumple que:

$$V'_D(h) < 0.8V_{crit} \tag{e48}$$

donde V_{crit}(m/s) es la velocidad crítica de aparición de vórtices periódicos y $V'_D(h)$ es la velocidad media evaluada a la altura total de la estructura con la ecuación "ec. 33". La velocidad V_{crit} se define a partir de la siguiente expresión:

$$V_{crit} = b \cdot \eta_{1,Y} / S_t \tag{e49}$$

donde St es el número de Strouhal que depende de la forma de la geometría de la estructura. Para nuestro proyecto St = 0.2 [apartado 4.4.7.1]; b(m) =6.823; $\eta_{1,Y}$ (Hz) = 0.1333; V_{crit} (m/s) = 45.488; V'_D(m/s) = 21.044; y entonces V'_D/V_{crit} = 0.4626 < 0.8, por tanto pueden despreciarse los efectos de vórtices periódicos.

MV-CFE-08 APLICACIÓN SISTEMA VIENTO V 1.0 (I.I.E., C.F.E.)

Con la ésta edición del manual de diseño, se ha anexado una aplicación de cómputo que ayuda al diseñador a obtener el perfil de presiones de diseño, ésta herramienta fue desarrollada por el Instituto de Investigaciones Eléctricas (I.I.E.) con el apoyo de la C.F.E. En este segmento se presentan una serie de imágenes que muestran el proceso que se llevo a cabo para emplear la herramienta en nuestro proyecto. Decidimos utilizar la opción de diseño con una geometría de chimenea o torre, al final, en la tabla 3 se presentan los valores que arroja esta aplicación denominada *Sistema Viento v1.0*



Figura 12. Vista de los créditos y alcances de la aplicación

En general, para determinar el valor del factor de amplificación dinámica (ver figura 14), los resultados que arroja el sistema son idénticos con los que se determinaron en el apartado anterior, salvo una observación en la sección de los coeficientes de presión. En la figura 14 se ha indicado con dos recuadros que los valores de los factores de exposición estático (F_{RZES}) y de relación de esbeltez (K_{re}) no concuerdan con los planteamientos de las secciones [4.2.3 y 4A.6].

El reporte que genera el sistema muestra que el valor del coeficiente de presión (C_a) se realizó de acuerdo a la [tabla 4.3.22], con ello, valuamos el producto de los factores que participan en el cálculo de la presión de diseño de la siguiente manera:

$$P_Z = PF \cdot q_Z \tag{e50}$$

$$PF = C_P \cdot F_{RZES} \cdot F_{AD};\ PF = C_a \cdot K_{re} \cdot F_{RZES} \cdot F_{AD} \tag{e51}$$

Sustituimos valores en la ecuación "ec. 51" PF = (0.78)(0.63)(0.97)(1.0) y tenemos PF = 0.48; por tanto, de la ecuación "ec. 50" valuamos $P_Z = 0.48 \cdot q_Z$; lo cual se verifica en la tabla 3.

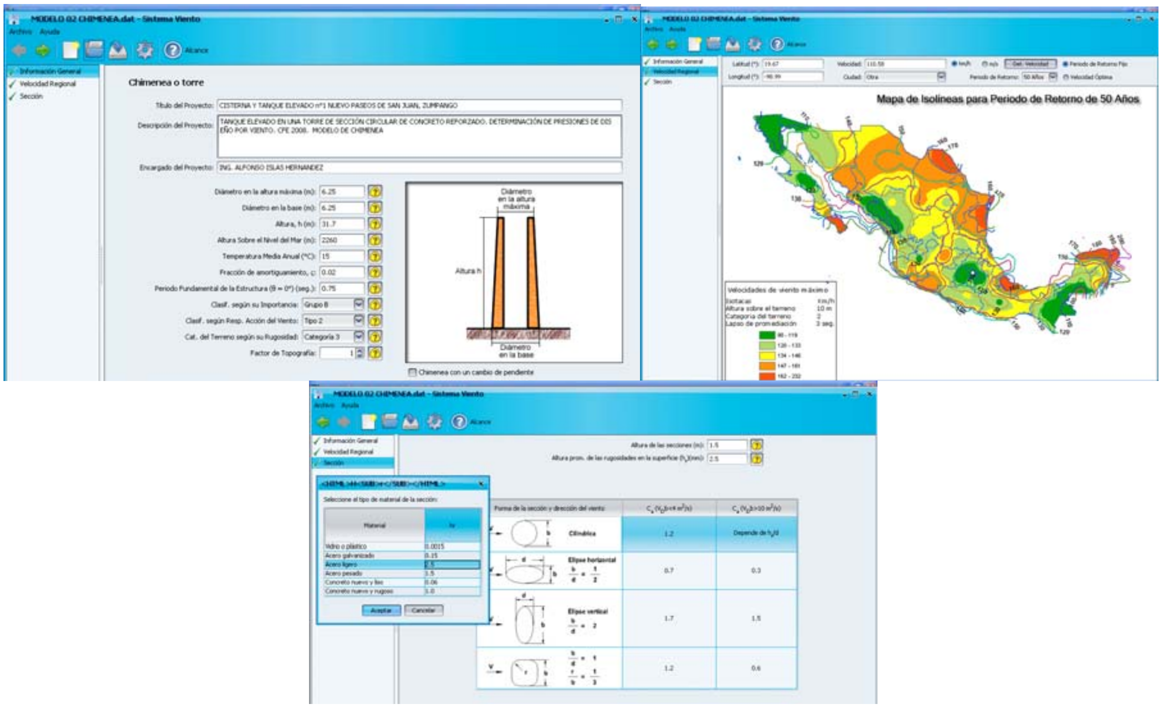


Figura 13. Vista general del ingreso de información en la aplicación

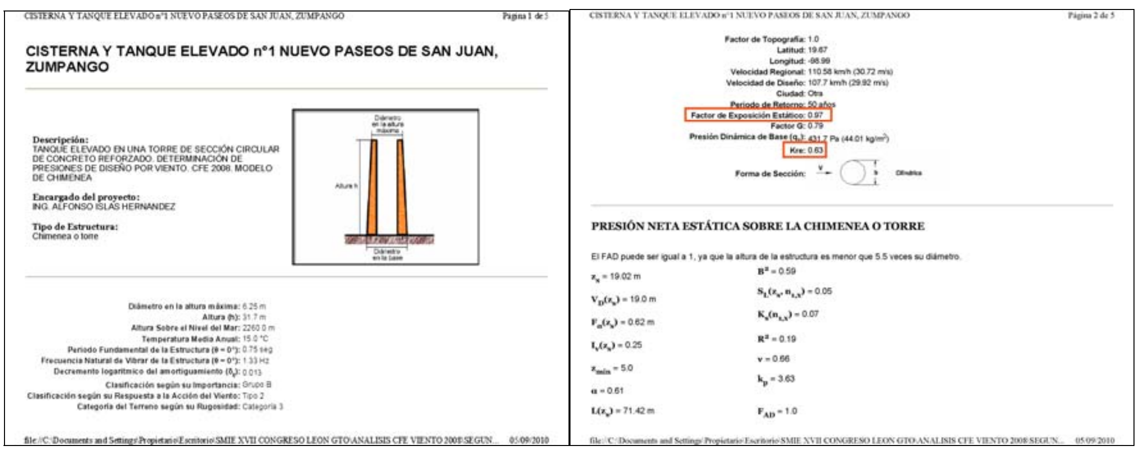


Figura 14. Vista parcial de los resultados generados por la aplicación

Tabla 3 Valores de presión de diseño MV-CFE-08 Sistema Viento (IIE, CFE)

Sección	H (m)	F_{RZ}	V_D (m/s)	q_Z (Pa)	q_Z (Kg/m^2)	Pz(Pa)	Pz(Kg/m^2)
Ver figura 3		*(Z)*	*(Z)*	*(Z)*	*(Z)*	*(Z)*	*(Z)*
9	30.300	1.05	32.17	499.21	50.91	243.59	24.84
8	26.900	1.03	31.58	481.01	49.05	234.71	23.93
7	23.500	1.01	30.92	461.15	47.02	225.02	22.95
6	20.100	0.98	30.18	439.21	44.79	214.31	21.85
5	16.700	0.95	29.32	414.53	42.27	202.27	20.63
4	13.300	0.92	28.29	386.11	39.37	188.40	19.21
3	9.900	0.88	27.06	353.24	36.02	172.36	17.58
2	6.500	0.88	27.06	353.24	36.02	172.36	17.58
1	3.100	0.88	27.06	353.24	36.02	172.36	17.58
0	0.000	0.88	27.06	353.24	36.02	172.36	17.58

COMPARACIÓN DE VALORES DE LOS PERFILES DE PRESION DE DISEÑO OBTENIDOS

En esta sección se realiza la comparación numérica de los perfiles obtenidos con los enfoques vistos: MV-CFE-93; MV-CFE-08 y con el ejercicio de la herramienta *Sistema Viento v1.0*, ver tablas 4a, 4b y 4c. La representación gráfica de estas tablas se muestra en la figura 15.

Tabla 4a Comparación numérica de valores de presión de diseño

Sección	H (m)	F_{RZ}			V_D (m/s)		
Ver figura 3		*MV-CFE-93*	*MV-CFE-08*	*S.V. IIE,CFE*	*MV-CFE-93*	*MV-CFE-08*	*S.V. IIE,CFE*
9	30.300	1.037	1.047	1.05	32.824	32.002	32.17
8	26.900	1.017	1.028	1.03	32.205	31.413	31.58
7	23.500	0.995	1.007	1.01	31.516	30.758	30.92
6	20.100	0.971	0.982	0.98	30.737	30.017	30.18
5	16.700	0.942	0.954	0.95	29.839	29.162	29.32
4	13.300	0.909	0.921	0.92	28.772	28.144	28.29
3	9.900	0.868	0.881	0.88	27.489	26.919	27.06
2	6.500	0.868	0.881	0.88	27.489	26.919	27.06
1	3.100	0.868	0.881	0.88	27.489	26.919	27.06
0	0.000	0.868	0.881	0.88	27.489	26.919	27.06

Tabla 4b Comparación numérica de valores de presión de diseño

Sección	H (m)	q_Z (Kg/m2)			F_{AD}			
Ver figura 3		*MV-CFE-93*	*MV-CFE-08*	*S.V. IIE,CFE*	*MV-CFE-93*	*MV-CFE-08*	*S.V. IIE,CFE*	*FINAL*
9	30.300	53.093	50.467	50.91	0.868	0.948	1.0	1.0
8	26.900	51.109	48.627	49.05	0.848	0.948	1.0	1.0
7	23.500	48.946	46.620	47.02	0.826	0.948	1.0	1.0
6	20.100	46.558	44.401	44.79	0.802	0.948	1.0	1.0
5	16.700	43.878	41.907	42.27	0.774	0.948	1.0	1.0
4	13.300	40.795	39.033	39.37	0.741	0.948	1.0	1.0
3	9.900	37.237	35.710	36.02	0.701	0.948	1.0	1.0
2	6.500	37.237	35.710	36.02	0.701	0.948	1.0	1.0
1	3.100	37.237	35.710	36.02	0.701	0.948	1.0	1.0
0	0.000	37.237	35.710	36.02	0.701	0.948	1.0	1.0

Tabla 4c Comparación numérica de valores de presión de diseño

Sección	H (m)	P_Z (Kg/m2)			Δ1 Pz (Kg/m2)	Δ2 Pz (Kg/m2)	Var. 1 (%)	Var. 2 (%)
Ver figura 3		*MV-CFE-93*	*MV-CFE-08*	*S.V. IIE,CFE*	CFE (93 - 08)	CFE (93 - SV)	(08 / 93)	(SV / 93)
9	30.300	84.949	80.747	24.84	4.202	60.109	4.947	70.759
8	26.900	81.774	77.803	23.93	3.971	57.840	4.856	70.731
7	23.500	78.314	74.591	22.95	3.722	55.368	4.753	70.700
6	20.100	74.494	71.042	21.85	3.452	52.640	4.634	70.663
5	16.700	70.205	67.051	20.63	3.154	49.578	4.493	70.620
4	13.300	65.272	62.453	19.21	2.819	46.060	4.318	70.567
3	9.900	59.579	57.137	17.58	2.443	42.003	4.100	70.500
2	6.500	59.579	57.137	17.58	2.443	42.003	4.100	70.500
1	3.100	59.579	57.137	17.58	2.443	42.003	4.100	70.500
0	0.000	59.579	57.137	17.58	2.443	42.003	4.100	70.500

Si tomamos como referencia de comparación el perfil de presiones de MV-CFE-93, entonces, se presentan las diferencias con respecto a la versión MV-CFE-08 y el reporte de la aplicación del I.I.E con la notación *Δ1* y *Δ2* respectivamente (ver tabla 4c). Con el mismo enfoque se muestran las variaciones en porcentaje con la nomenclatura *Var.1* y *Var.2* (ver tabla 4c). La representación gráfica de estas comparaciones se muestra en la figura 15.

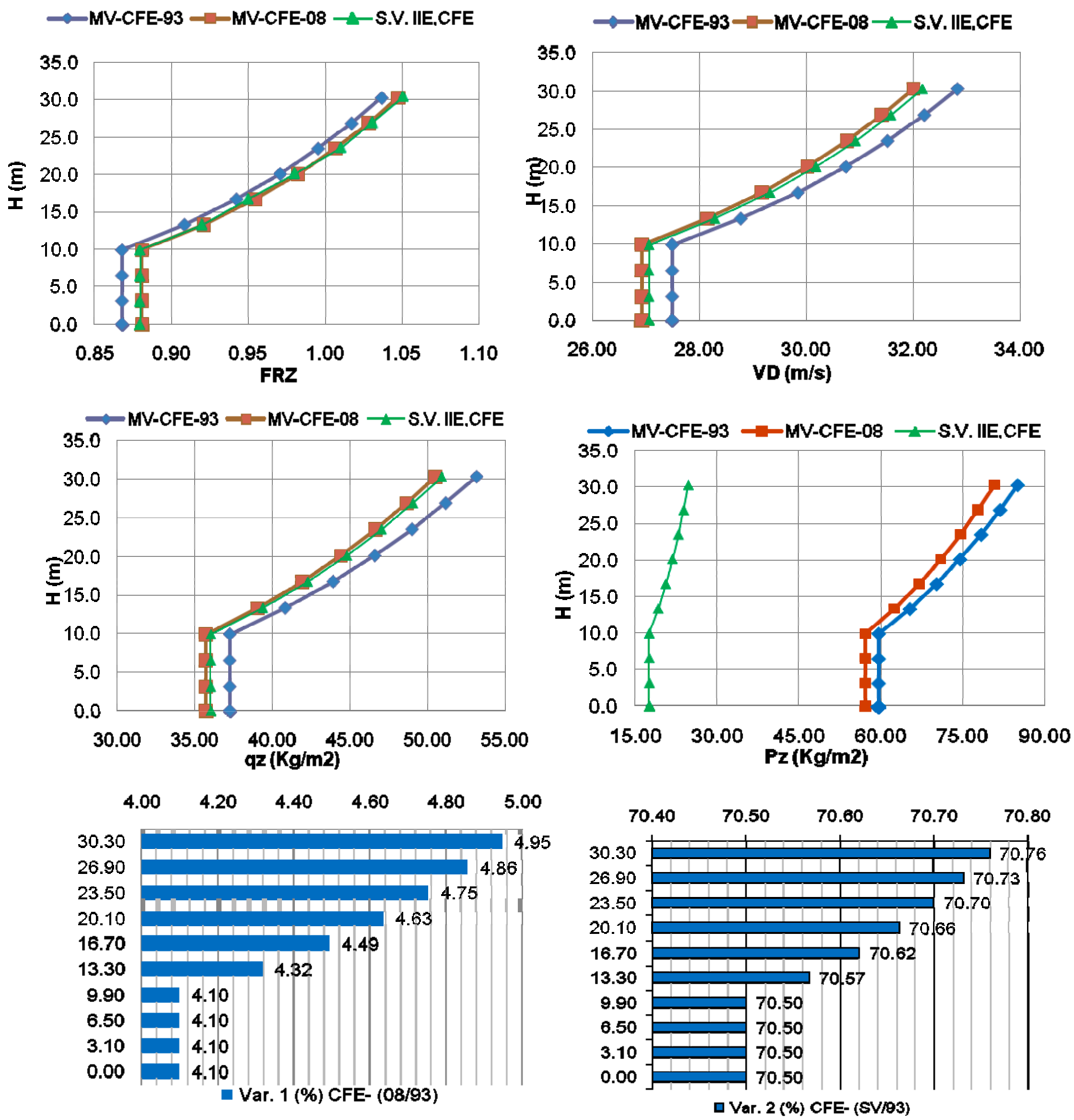


Figura 15. Comparación gráfica de los valores de las tablas 4a, 4b y 4c

DISEÑO DE BASTIDORES PARA RECUBRIMIENTO Y SISTEMA DE ANCLAJE

Con en el perfil de presiones de diseño de MV-CFE-93 de la tabla 1 y la geometría del recubrimiento de la figura 3, elaboramos un modelo en computadora para analizarlo y diseñarlo con ayuda del programa STAAD.Pro V8i (ver figura 16) mediante un arreglo de elementos con secciones de perfiles comerciales PTR de 2”x2”x1/8” y de 1 ½”x1 ½”x1/8” de acero A-36.

Para la revisión estructural este modelo decidimos emplear el código de diseño AISC-ASD-89; también consideramos el cumplimiento del estado límite de servicio por medio de la deformación límite que plantea MV-CFE-08 en el [apartado 4B.2, tabla B.3] para el caso de elementos que soportan elementos metálicos, con una relación: *claro/120* (ver figura 17).

Consideramos aplicar al modelo cuatro casos de carga:

a) Carga gravitacional que incluye peso propio, carga muerta y viva reglamentaria.
b) Carga accidental por granizo y con efectos de cambios de temperatura.
c) Carga lateral por viento en dirección paralela de un eje principal y global de análisis.
d) Carga lateral por viento en dirección perpendicular al caso (c).

Con esto, elaboramos las combinaciones de cargas con efectos bidireccionales como lo plantea la sección 1.5.6 del manual de construcción en acero del Instituto Mexicano de la Construcción en Acero y también tomamos en cuenta el capítulo 2 de las Normas Técnicas Complementarias sobre criterios y acciones para el diseño estructural de las edificaciones del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal.

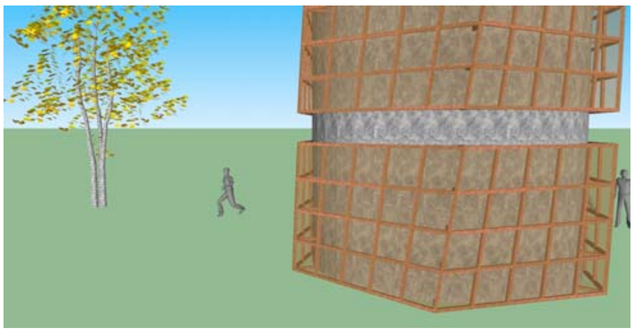
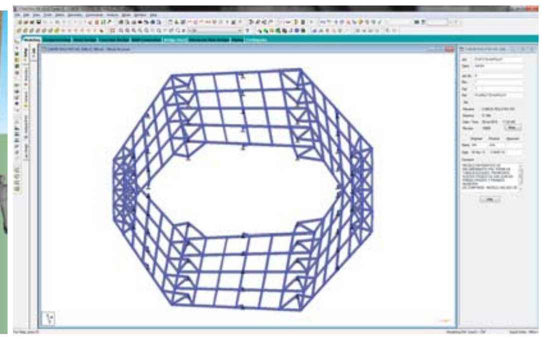



Figura 16. Vista parcial del arreglo de bastidores metálicos que se anclan al muro de concreto. Modelo elaborado en STAAD.Pro V8i

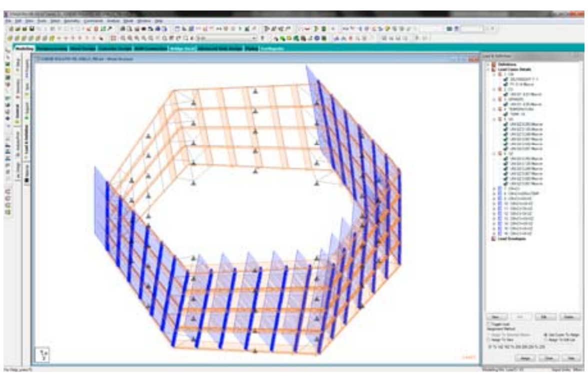
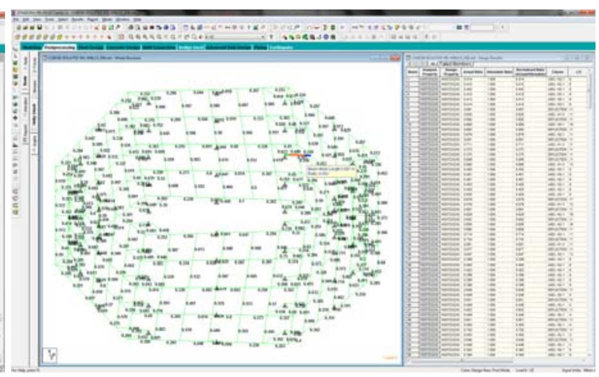



Figura 17. Vista de la asignación de casos y combinaciones de carga en el modelo. Vista de la revisión estructural con los códigos AISC-ASD-89 y MV-CFE-08_4B.2

A partir de los resultados del modelo estructural, el siguiente proceso fue diseñar un sistema de anclaje mecánico con placas base de acero A-36 y taquetes expansivos de acero al carbón con extremo roscado. Para esto, optamos por emplear los productos de un proveedor especialista con mucha experiencia en el tema que además nos apoyó con una retro alimentación técnica de su área de ingeniería (ver figura 18) y logramos optimizar los diseños de los anclajes que se muestran en la figura 19.

Además se llevo a cabo un análisis por flexión de la lamina metálica multi perforada con el objeto de especificar un rango determinado de piezas comerciales que podrán emplearse, con un calibre constante, para resistir las fuerzas de diseño por viento (ver figura 19).

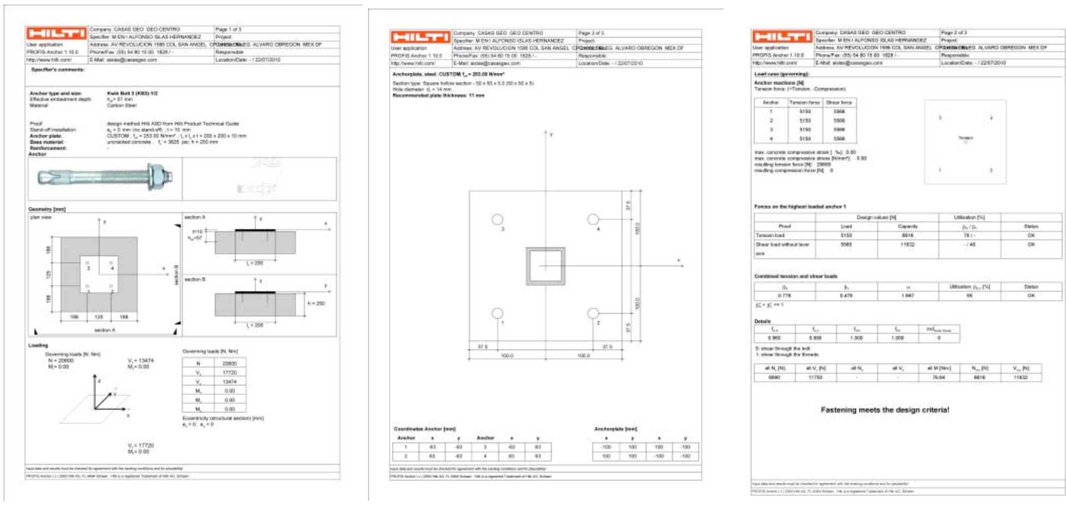
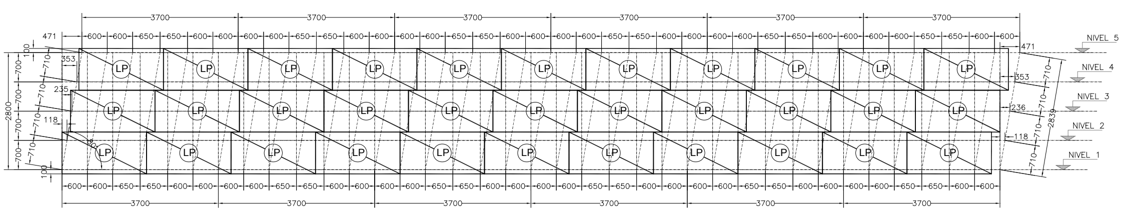


Figura 18. Vista parcial de los reportes técnicos que sirvieron de retro alimentación en el diseño del sistema de anclaje mecánico

TABLA DE PERFILES											
	ELEMENTO S1		ELEMENTO S2		ELEMENTO S3		PLACA BASE				
ANILLO	PERFIL	PESO (Kg/m)	PERFIL	PESO (Kg/m)	PERFIL	PESO (Kg/m)	AP1 LxBxE (mm)	TAQUETES #piezas, diámetro x longitud	AP2 LxBxE (mm)	TAQUETES #piezas, diámetro x longitud
7,8,9	OR 51x51x3.2mm (PTR 2"x2"x ⅛")	4.54	OR 51x51x3.2mm (PTR 2"x2"x ⅛")	4.54	OR 51x51x3.2mm (PTR 2"x2"x ⅛")	4.54	200x200x10	4, ½" x 2¼"	200x200x10	4, ½" x 2¼"
4,5,6 1,2,3	OR 51x51x3.2mm (PTR 2"x2"x ⅛")	4.54	OR 51x51x3.2mm (PTR 2"x2"x ⅛")	4.54	OR 38x38x3.2mm (PTR 1½"x1½"x ⅛")	3.29	150x150x10	4, ½" x 2¼"	150x150x10	4, ½" x 2¼"



VISTA EN ALZADO.
DESPIECE SUGERIDO DE LAMINA METALICA LISA MULTIPERFORADA. DIMENSIONES DE PIEZA DE 100x200cm.

Figura 19. Vista de la tabla de perfiles metálicos para el sistema de bastidores, placas base, arreglo de taquetes expansivos y despiece de lámina metálica multiperforada para el recubrimiento del proyecto

COMENTARIOS Y OBSERVACIONES

De manera práctica, los valores del perfil de presiones de diseño del MV-CFE-93 son idénticos a los del MV-CFE-08. El hecho de que MV-CFE-08 no tome en cuenta el factor de tamaño (F_C) y de exposición (F_α) no interfiere en los cálculos finales. El MV-CFE-08 propone una secuencia de cálculo transparente respecto al de MV-CFE-93, notamos que tienden a ser susceptibles de un manejo subjetivo por parte del diseñador en el momento de considerar y/o suponer los casos que aplicarían para determinar los valores de los diversos factores de presiones locales y/o de arrastre.

Con respecto al reporte generado por el programa auxiliar del I.I.E., C.F.E.; desde el punto de vista numérico no presenta errores, pero no resultan coherentes los valores que determina para los coeficientes de presión con base en las disposiciones del MV-CFE-08. Esto repercute en una variación del perfil de presión de diseño del orden de 70% por debajo de los valores del MV-CFE-93. En este tema, sugerimos que esta herramienta sea revisada por el gremio profesional a fin de definir una nueva edición.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Área de Proyectos de la promoción Nuevo Paseos de San Juan de la empresa Geo Hogares Ideales y a los compañeros integrantes del Departamento de Ingeniería Estructural de Geo Centro; por sus comentarios y sugerencias que ofrecieron en el desarrollo de este proyecto. A los ingenieros Alejandro Méndez, Hector Iván Hernández, Raúl Moreno y Rubén Orozco junto con el arquitecto Francisco Berumen de la empresa HILTI Mexicana S.A. de C.V. un agradecimiento por su apoyo, seguimiento y retro alimentación profesional tanto en los diseños como en la prueba de campo del sistema de anclaje de este proyecto. Un agradecimiento especial para la M. en I. Mabel Mendoza Pérez por su apoyo en la edición y revisión crítica de este documento.

BIBLIOGRAFIA

C.F.E., Instituto de Investigaciones Eléctricas (1993), "**Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por Viento**", Tomos I, II y III, México, 285pp.

C.F.E., Instituto de Investigaciones Eléctricas (2008), "**Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por Viento**", Tomos I, II y III, México, 360pp.

Cruz Alarcón, M. (2009), "**La respuesta dinámica inducida por el viento turbulento y su tratamiento en las recomendaciones contenidas en reglamentos**", Tesis de Maestría, Facultad de ingeniería, UNAM, México, 131 pp.

Gobierno del Distrito Federal (2004), **"Normas Técnicas Complementarias sobre criterios y acciones para el diseño estructural de las edificaciones"**, Gaceta Oficial del Gobierno del Distrito Federal, Tomo II, pp. 2 -10, México.

HILTI (2009), "**Manual Técnico de Productos 2008-2009**", HILTI Mexicana S.A. de C.V., México, 160 pp. www.hilti.com.mx/

Instituto Mexicano de Construcción en Acero (2005), "**Manual de Construcción en Acero - D.E.P.**", 4° Edición, Limusa, México, 480 pp.

Johnston, G., B., F., J., Lin, Galambos, T. V. (1990), "**Diseño Básico de Estructuras de Acero**", Prentice Hall Interamericana S.A., México, 200 pp.

Kuusisto, Hannele (2009), "**A Lyrical Copper Library**", Copper Forum, the magazine of Copper in architecture, N° 27, September, pp. 20-23, Koppar Forum c/o Luvata Sweden. www.copperconcept.org

Rodríguez Cuevas, N. (2001), "**Notas del curso de Diseño Eólico**", Programa de Maestría en Ingeniería Civil-Estructuras, Facultad de Ingeniería, UNAM, México.

Tzonis, Alexander, (2008), "**Santiago Calatrava, obra completa**", Edición ampliada. Ediciones Polígrafa S.A., Barcelona, España, 480 pp.

www.turningtorso.com Fecha de consulta: diciembre de 2008.

http://www.calatrava.com/ Fecha de consulta: diciembre de 2008.

http://blog.miragestudio7.com/ Fecha de consulta: enero de 2009.

http://www.metalprojects-overpelt.be/ Fecha de consulta: febrero de 2009.